

УДК 621.86/87



И.В. Зайцев¹, А.Л. Кузьминов¹, А.В. Карышев²
¹Череповецкий государственный университет,
²ООО «Центр Промсервис»

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА БЕЗОПАСНОСТЬ И СРОКИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КРАНОВ КОНВЕРТОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Статья посвящена исследованию влияния термоциклических воздействий со стороны конвертера сталеплавильного производства на безопасность и сроки эксплуатации грузоподъемных кранов, основанной на оценке изменения магнитных свойств металла с помощью образцов-свидетелей.

Грузоподъемный кран, термоциклические воздействия, коэрцитивная сила.

Большинство свойств сталей и сплавов определяется их внутренним строением. Имея достоверные методы определения внутреннего строения сталей, можно оценить различные физико-механические характеристики стальных изделий.

Магнитные свойства, как известно, весьма чувствительны к изменениям, происходящим в фазовом и химическом составах, структурном и напряженном состояниях сталей и сплавов. Именно высокая чувствительность магнитных свойств к указанным факторам стала основой для создания нового научного направления магнитного структурно-фазового анализа.

Тепловое воздействие со стороны ковша и конвертера на траверсу и металлоконструкцию крана составляет по данным замеров от 450...до 580 °С. Для большинства сталей характерно монотонное изменение магнитных и прочностных характеристик в интервале температур от комнатных до 600... 650 °С. По тепловым воздействиям, времени и цикличности,

наиболее близким из процессов термической обработки является средний отпуск.

Исследование влияния температуры на магнитные свойства металла проводилось в реальных условиях, то есть образцы-«свидетели», изготовленные из стали ВСтЗсп05, устанавливались на траверсе (рис. 1) со стороны конвертеров. Образцы представляют собой жесткий контур, сваренный из уголков 50×50×5, и в этот контур заварен лист толщиной 6 мм, на листе присутствовали концентраторы в виде изгиба листа, стыкового и таврового сварного шва. Это дало возможность учитывать не только влияние термоциклов на усталостную долговечность, но и влияние остаточных сварочных напряжений и ослабление металла из-за нарушения кристаллической решетки и структуры зерен при нагреве. Для выявления влияния сварочных концентраторов напряжений изготавливались также цельные образцы аналогичной конструкции и толщины.

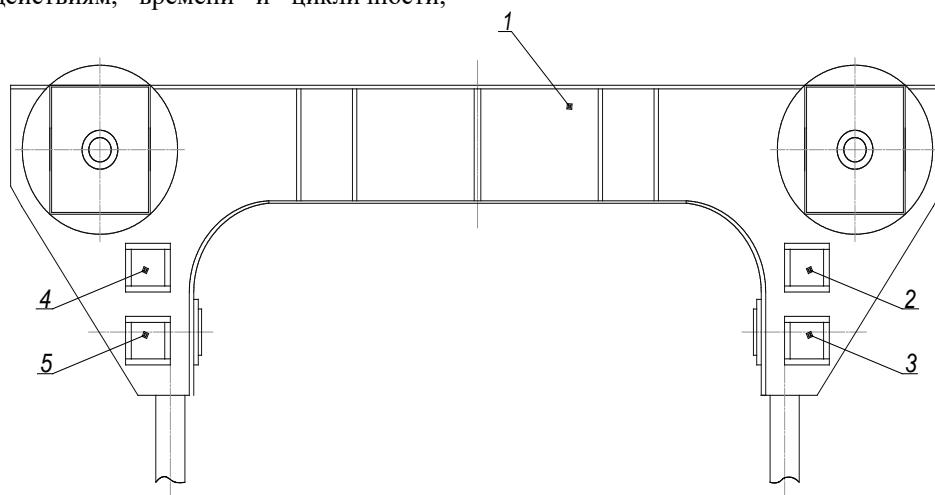


Рис. 1. Места расположения образцов-«свидетелей» на траверсе:
 1 – траверса; 2 – образец № 2; 3 – образец № 1;
 4 – образец № 4; 5 – образец № 3

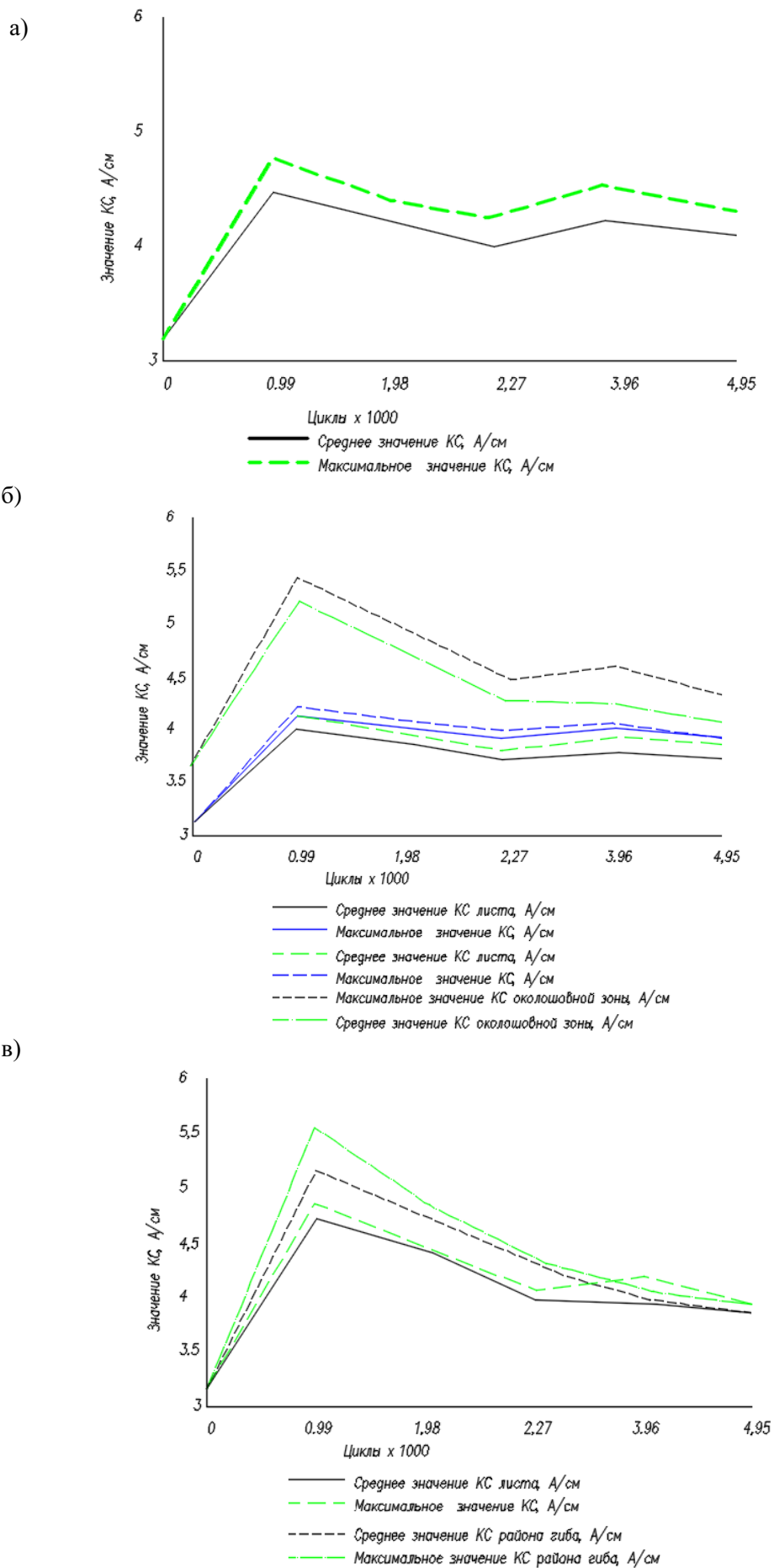


Рис. 2. Графики изменения коэрцитивной силы (КС) в зависимости от числа термоциклов:
а) – образец № 1, б) – образец № 2 в) – образец № 4

Произведены замеры коэрцитивной силы проката, из которого были изготовлены образцы, а также замеры образцов после сварки. В течение испытаний на образцах производились замеры коэрцитивной силы и фиксировалось число циклов термовлияния.

По результатам опытов построены графики зависимости числа циклов нагружений от максимального и среднего значения коэрцитивной силы (КС). На рисунке 2 представлены результаты измерения величины коэрцитивной силы в области основного металла, сварного шва и изгиба от числа термоциклов для стали ВСтЗсп5. Установлено, что величина коэрцитивной силы для стали ВСтЗсп5 по мере увеличения циклов термонагружения снижается во всех зонах.

По замерам коэрцитивной силы образцов было произведено статистическое исследование и получена зависимость поведения коэрцитивной силы в зонах основного металла, изгиба и сварного шва. Из данной зависимости можно сделать вывод, что динамика изменения коэрцитивной силы при температурном воздействии в стали ВСтЗсп5 описывается рациональной функцией. Предварительное напряжение в образцах возникает из-за заварки их в жесткий контур из уголков. Коэффициент a принимает значение равное значению коэрцитивной силы для металла с поставки H_c^0 , поэтому уравнение для H_c можно записать следующим образом:

$$H_c = \frac{H_c^0 + b \cdot N}{1 + c \cdot N + d \cdot N^2} \quad (1)$$

По мере термоциклического воздействия происходит снижение коэрцитивной силы. По зависимости 2 произведем расчет числа циклов, когда значения коэрцитивной силы достигнут значений $H_c^0 = 3$ А/см – значения коэрцитивной силы с поставки, $H_c = 1$ А/см – граничное значение коэрцитивной силы, $H_c = 0,5$ А/см – критическое значение коэрцитивной

силы, при котором в малоуглеродистых сталях происходят необратимые изменения.

Данные по аппроксимации функции представлены на графиках рисунка 3. Из графиков видно, что диапазон значений от $H_c^0 = 3$ А/см до $H_c = 1$ А/см (режим надежной эксплуатации) составляет от 20 000 циклов до 127 000 циклов для основного металла, от 12 000 циклов до 55 000 циклов для околошовной зоны, от 9000 циклов до 38 000 циклов для зон с криволинейными предварительно напряженными участками и участками гiba; диапазон значений от $H_c = 1$ А/см до $H_c = 0,5$ А/см (режим контролируемой эксплуатации) составляет от 127 500 циклов до 288 000 циклов для основного металла, от 55 500 циклов до 121 000 для околошовной зоны; от 38 500 циклов до 83 000 циклов для зон с криволинейными предварительно напряженными участками и участками гiba; диапазон значений $H_c = 0,5$ А/см и ниже (неконтролируемый режим эксплуатации) составляет значения более 288 000 циклов для основного металла, более 121 000 циклов для околошовной зоны; более 83 000 циклов для зон с криволинейными предварительно напряженными участками и участками гiba.

Монотонное уменьшение коэрцитивной силы, потеря энергии на перемагничивание, поля максимальной магнитной проницаемости, удельного электрического сопротивления и увеличение магнитной и максимальной проницаемостей связаны с процессами, происходящими при температурах возрастающих от комнатных до 600 °С: уменьшением искаженности решетки α -фазы вследствие выделения углерода; снижением внутренних микронапряжений; распадом остаточного аустенита, количество которого в этих сталях невелико.

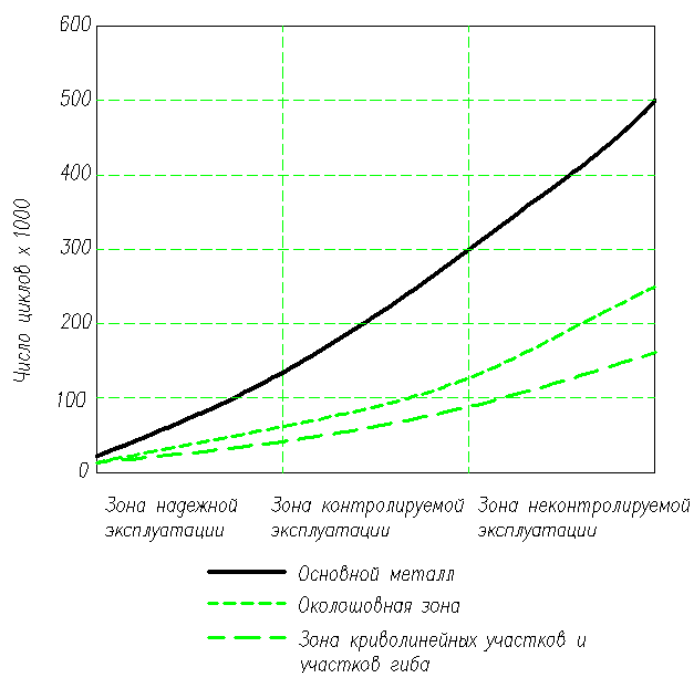


Рис. 3. Диаграммы развития накопления повреждений стали СтЗсп5 во времени

Для низкоуглеродистых сталей с содержанием углерода менее 0,3 % характерно монотонное изменение всех рассмотренных физических характеристик при изменении температуры отпуска, поэтому для целей неразрушающего контроля прочностных свойств и структурного состояния можно использовать любую из них. Наиболее предпочтительной и широко используемой на практике является коэрцитивная сила. При низкотемпературном отпуске коэрцитивная сила претерпевает большее изменение, нежели прочностные характеристики, что позволяет получить более достоверную информацию о структурном состоянии, стали при отпуске.

Кривые намагничивания по мере увеличения температуры становятся более крутыми, т.е. эффективная константа магнитной анизотропии отпущенной стали уменьшается. Отпуск закаленной стали сопровождается увеличением магнитной проницаемости μ , а также изменением многих магнитных свойств сталей. Коэрцитивная сила и потери энергии на перемагничивание уменьшаются, а остаточная индукция B возрастает. Существенное изменение претерпевает и форма петли гистерезиса. Таким образом, из анализа кривых

намагничивания и магнитной проницаемости, а также петель магнитного гистерезиса следует, что магнитные свойства металла чувствительны к превращениям, происходящим при отпуске стали и могут быть использованы для неразрушающего контроля.

Литература

1. Магнитный контроль напряженно-деформированного состояния и остаточного ресурса подъемных сооружений при проведении их обследования и техническом диагностировании : методические указания. РД ИКЦ КРАН-007-97. – Москва : ИКЦ «КРАН», 1997.
2. Терентьев, В. Ф. Усталость металлических материалов / В. Ф. Терентьев. – Москва : Наука, 2003. – 254 с.
3. Карпухин, И. И. Возможности применения метода коэрцитивной силы для обследования технического состояния металлургического оборудования / Карпухин И. И., Корнилова А. В., Тет П. // Научно-технический прогресс в черной металлургии – 2019 : сборник материалов IV Международной научной конференции. – Череповец, 2019. – С. 88–96.

I.V. Zaitsev¹, A.L. Kuzminov¹, A.V. Karyshev²

¹Cherepovets State University,

²Promservice Center LLC

INFLUENCE OF THERMOCYCLIC IMPACTS ON CONVERTER PRODUCTION CRANES SAFETY AND OPERATING LIFE

The article is devoted to the study of the influence of thermal cyclic effects from the steelmaking converter on the safety and service life of cranes, based on an assessment of changes in the magnetic properties of the metal using witness samples.

Lifting crane, thermal cyclic effects, coercive force.